

УДК 629.113.001

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ****канд техн. наук А.Н. ПАНОВ****(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск)**

Рассмотрены проблемы обеспечения надежности процессов изготовления по параметрам качества выпускаемой продукции, предложены модели, методы, позволяющие обеспечить новый уровень качества. Матрица выбора обязательных видов контроля, аудитов позволяет при планировании качества и разработки программы управления качеством на основе метода последовательных приближений устанавливать адекватные виды деятельности в зависимости от серьезности последствий несоответствия для заинтересованных сторон. Предложена модель планирования качества процесса изготовления, цель которой – достижение вероятности выполнения номинальной величины параметра продукции (или процесса) в зависимости от серьезности последствий несоответствия, что реализуется путем опережающего планирования качества, и вероятности появления несоответствий от всех идентифицированных причин.

Введение и постановка задач. В настоящее время существенным фактором, определяющим качество автокомпонентов, является надежность процессов изготовления. В контрактах, в технических нормативных правовых актах [1] для поставщиков комплектующих автосборочных заводов появились новые показатели качества, например, число несоответствий на миллион – ppm.

Разработка технологического процесса в машиностроении [2] традиционно включает: наличие информационной базы (конструкторская документация, объем производства, плановая себестоимость и т.п.); выбор принципиальной схемы обработки, заготовки; разработку маршрутной и операционной технологии; закупку (изготовление), проверку оборудования, оснастки; апробацию технологического процесса; устранение выявленных несоответствий; изготовление партии продукции и квалификационные испытания. Концептуальными положениями разработки процесса изготовления серийного и массового производства являются [2]: «допусковое мышление»; классификация параметров продукции – дефекты «критические», «значительные» и «малозначительные» без явной идентификации; проектирование изделия и технологического процесса. Контрольные операции технологического процесса, направленные на подтверждение достижения целей в области качества, описываются в конце технологического процесса, как правило, без обоснования достоверности. Отладка технологического процесса завершается при попадании в поле допуска нескольких экземпляров изделий (как правило, два, три образца). Метрологическая экспертиза технологического процесса сосредоточена на поиске ошибок разработчика при выборе точности средств контроля. Практически независимо от технологического процесса – вычисление суммарной погрешности обработки; расчет долей элементарных погрешностей; разработка и реализация мероприятий снижающих величины доминирующих факторов; регламентирование продолжительности процесса до принудительной смены инструмента, подналадки и т.д. Ввиду сложности задачи расчетным путем из-за отсутствия данных, как правило, для практических целей не удастся оценить суммарную погрешность обработки. Допустимые погрешности измерения [2] составляют от 20 % (для грубых качеств) до 35 % от поля допуска на параметр. Таким образом, на практике при использовании такой модели с существенной вероятностью могут быть забракованы соответствующие и приняты несоответствующие изделия. Для снижения негативного влияния указанного явления, как правило, используют два подхода: первый – предполагается, что при назначении допуска конструктор уже учел погрешность измерения как составную его часть; второй – введение производственного допуска – «заузить» поле допуска на величину допустимой погрешности измерения и т.п. Таким образом, достижение показателя, например, 50 ppm [1] в соответствии с действующей моделью и методикой проектирования технологического процесса не представляется возможным.

Технические требования к методам оценки надежности технологических систем по параметрам качества изготавливаемой продукции, производительности определены в технических нормативных правовых актах и методических рекомендациях, например, [3 – 6]. Традиционные критерии качества технологического процесса – точность обработки, производительность, себестоимость [2 – 6]. Цель оценки точности технологического процесса – вычисление суммарной погрешности обработки; расчет долей элементарных погрешностей; разработка и реализация мероприятий снижающих величины доминирующих факторов; регламентирование продолжительности процесса до принудительной смены инструмента, подналадки и т.д. Ввиду сложности задачи расчетным путем из-за отсутствия данных, как правило, для практических целей не удастся оценить суммарную погрешность обработки. Допустимые погрешности измерения [2] составляют от 20 % (для грубых качеств) до 35 % от поля допуска на параметр. Таким образом, на практике при использовании такой модели с существенной вероятностью могут быть забракованы соответствующие и приняты несоответствующие изделия. Для снижения негативного влияния указанного явления, как правило, используют два подхода: первый – предполагается, что при назначении допуска конструктор уже учел погрешность измерения как составную его часть; второй – введение производственного допуска – «заузить» поле допуска на величину допустимой погрешности измерения и т.п. Таким образом, достижение показателя, например, 50 ppm [1] в соответствии с действующей моделью и методикой проектирования технологического процесса не представляется возможным.

Для достижения соответствия технологического процесса по параметрам качества изготавливаемой продукции принята модель оценки надежности технологической системы [2, 3]. На практике указанная модель, как правило, применяется только в части, по критериям: «коэффициент дефектности», «возвратов», т.е. по факту проблем. В зависимости от вида технологической системы показатели надежности

подразделяют на четыре группы: по точности; по технологической дисциплине; по выполнению заданий по качеству, комплексным показателям. Контроль точности технологических процессов – показателей вероятности выполнения заданий по качеству – основан на анализе независимости-зависимости технологических операций друг от друга, а также вероятности передачи дефекта с одной операции на другую. В результате рассматриваются зависимые, независимые события и вероятность выполнения технологической операции с заданными ограничениями. Надежность процесса также оценивается и по параметрам технологической дисциплины (например, регистрационный метод оценки невыполнения технологического процесса назначенной комиссией), комплексным параметрам (регистрационный метод оценки выполнения коэффициентов дефектности, возвратов, брака и т.п.). Рассматриваемая модель оценки надежности технологической системы сосредоточена на оценке вероятности или чаще констатации факта (статистических данных) невыполнения процессом установленных требований по качеству произведенной продукции. Таким образом, реализация концепции «качество технологического процесса – вероятность или статистика выполнения попадания в поле допуска параметров качества продукции» обеспечивает достижение показателя ppm более 3000, что не соответствует конкурентоспособным целям по качеству. Существующая модель проектирования технологических процессов и оценки их надежности требует совершенствования.

В настоящее время развиваются теории, модели и методики [7 – 22], которые для достижения целей по качеству используют новые методы, такие как: менеджмент рисков, надежности [12 – 22]; показатели стабильности и воспроизводимости технологического процесса [10, 11], при этом учитывается не только традиционная система «станок – приспособление – инструмент – деталь», но и оператор, программное обеспечение, обратная связь от персонала и т.д. Все указанное связано экономическими критериями. Концептуальным положением при создании машин и процессов изготовления в мире становится предупреждение несоответствия, а не констатация брака при контроле [12].

Результаты и их обсуждение. В основе предлагаемой модели планирования качества процесса изготовления – научная концепция о возможности достижения максимума эффективности при приемлемом риске для заинтересованных сторон при создании объектов второй природы [10, 11]. Модель планирования качества процесса изготовления предлагается [11] рассматривать на основе двух гипотез: о необходимости и достаточности условий для достижения результативности при выполнении ограничений и эффективности процесса изготовления; о возможности оптимального управления вероятностью появления несоответствия процесса изготовления в зависимости от серьезности последствий.

Концептуальные положения предлагаемой модели планирования качества процесса изготовления (ПИ) [9 – 11] серийного и массового производства мобильных машин отчасти как альтернатива и развитие традиционной [2]: создание института «опережающего планирования качества продукта и процесса изготовления» как этапов жизненного цикла продукции и процессов; нормирование методов последовательного снятия неопределенности; введение института идентификации параметров серьезности последствий несоответствия параметров продукции и процесса их номинальной величине в конструкторско-технологической документации; определение приемлемого риска как вероятности несоответствия параметра номинальной величине в связи с серьезностью последствий; реализация института обязательного вида контроля и аудитов в зависимости от серьезности последствий в рамках жизненного цикла продукции и процессов; анализ, верификация и валидация процесса изготовления опытной и первой серийной партии по критерию вероятности несоответствия в зависимости от серьезности последствий; проведение оценки в целом измерительной системы в зависимости от серьезности последствий несоответствия при апробации опытной партии; совместное планирование вероятности появления несоответствий от идентифицированных причин (оборудования, инструмента, средств измерения, инфраструктуры, подготовки персонала и т.п.); постоянное совершенствование ПИ методом последовательных приближений за счет снижения вариаций, устранения выявленных коренных причин несоответствий, диагностики (аудитов процесса и продукта); адекватное планирование способов идентификации и обратной прослеживаемости на основе разработки планов обратной прослеживаемости в зависимости от серьезности последствий несоответствия; регистрация записей по результатам измерения и анализ проблем с технологическим процессом (ТП) в связи с ходом процесса и состояния объектов управления и т.д.; однозначность процедуры и ответственности за управление, анализ данных, планирование мер и реализация адекватных планов реагирования; назначение периодических испытаний продукции как повторной верификации и валидации специальных процессов (при контроле в процессе изготовления неизмеряемых параметров, например, циклической долговечности и т.п.).

Предлагается качество процесса изготовления рассматривать как вероятность недостижения номинальной величины параметра качества продукции в зависимости от важности (серьезности последствий несоответствия) [11]. Перепроектированием ПИ достигают требуемые вероятности появления неблагоприятного события. В качестве входных данных – информационной базы – разработки ПИ, кроме традиционных, в развитии [12] предложено использовать массив специальных характеристик, программу управления качеством продукта [11]. Традиционные этапы разработки ТП дополняются [11]: разработкой «карты процесса» – для анализа рисков и развертывания функций качества; созданием в междисциплинарной группе управления качеством процесса (опытной партии, серии). Указанное позволяет использовать достижения науки и техники для выявления всех возможных причин несоответствий объектов управления (материал, инструмент, персонал и т.п.).

Программа качества также включает: создание адекватных рискам планов обратной прослеживаемости; разработку процедур документирования, обслуживания и ремонта оборудования, инструмента, аттестации метрологической достоверности измерений, обучения персонала, создания требуемых условий среды и т.п. [11]. Проверка процесса изготовления на соответствие целям в области качества включает: изготовление «опытной партии» – для оценки стабильности, воспроизводимости процесса, метрологической достоверности на основе опытно-статистических исследований [11]. Далее в процессе производства реализуются процедуры постоянного совершенствования [9 – 11]. В рамках реализации гипотез, модели проектирования ПИ серийного и массового производства на основе метода последовательных приближений и стохастического детерминизма предложен периодический, в связи с этапами жизненного цикла, и приемлемый, с позиции «затраты – риск», выбор обязательных видов контроля и аудитов (таблица).

Матрица выбора обязательных видов контроля и аудитов от степени важности параметров

Виды контроля, аудитов продуктов, процессов, объем выборки	Степень важности параметров продукции							План реагирования по контролю и аудиту
	Малозначительные		Значительные				Критические	
	1...6		7 или 8		9		10, К	
	Стойкость процесса							
	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая	—	
	Показатель FMEA [22]							
	Низкий	Высокий	Низкий	Высокий	Низкий	Высокий	—	
1. Проверка годности и настроенности оборудования ($n \geq 5$ шт.)	—	—	—	+	+	+	+ $C_m, C_{mk} \geq 1,67$	Повторные настройки и контроль
	Меньше 100 % T		Меньше 50 % T	$C_m, C_{mk} \geq 1,33$				
2. Проверка первых образцов перед и после окончания работы ($n \geq 2$ шт.)	+	+	+	+	+	+	+	Повторные настройки и контроль
	Меньше 20 % T							
3. Проверка опытной партии ($n \geq 50$ шт.)	+	+	+	+	+	+	+	Повторные настройки и контроль
			$C_p, C_{pk} \geq 1,33$	$C_p, C_{pk} \geq 1,67$				
4. Выборочный контроль (поток, партия)	+	+	—	—	—	—	—	Сплошной контроль
5. Сплошной контроль	+	+	+	+	+	+	+	При нестабильном, процессе
6. Проведение анализа измерительных систем	—	—	+	+	+	+	+	Коррекция измерительной системы
7. Аудит процесса изготовления	—	—	+	+	+	+	+	Коррекция и корректирующие мероприятия
8. Аудит продукта	—	—	+	+	+	+	+	Коррекция и корректирующие мероприятия

В матрице выбора обязательных видов контроля и аудитов – степень важности параметров выбирается в соответствии с предложенными [11] критериями в развитии существующих [22]; стойкость процесса определяется на основе экспертной оценки в междисциплинарной группе [9 – 11] до проведения анализа результатов проектирования процесса изготовления (T – поле допуска на параметр; C_m, C_{mk} – соответственно показатели возможности оборудования; C_p, C_{pk} – соответственно показатели возможности процесса [11]).

Аудит процесса изготовления и продукта осуществляется в зависимости от степени риска несоответствия для диагностики степени дезорганизации, ошибки динамической памяти, флуктуации функций сложной системы – процесса изготовления. Анализ измерительных систем реализуется в зависимости от степени риска по заданным методикам [11, 12].

Предложенная матрица выбора обязательных видов контроля, аудитов позволяет при планировании качества и разработки программы управления качеством на основе метода последовательных приближений устанавливать адекватные виды деятельности (объем выборки при контроле продукции, процесса, аттестации измерительных систем и т.д.) в зависимости от серьезности последствий несоответствия для заинтересованных сторон.

Разработанные программы управления качеством и «карты процесса» являются источниками информации для разработки технологического процесса, планов обслуживания оборудования, инструмента, обучения персонала и т.д. Информация о запланированных действиях, обеспечивающих приемлемый

риск, из программы управления качеством поступает в исполнительные документы. Например, объем и вид контроля – в технологический процесс и рабочие инструкции; вид диагностики и обслуживания оборудования – в документацию по проведению планово-предупредительного ремонта; требования к материалам – в условия поставки, программу управления качеством поставщиков, планы входного контроля; виды и частота аудитов – в планы проведения аудитов продуктов и процессов; подготовка, (обучение) на рабочем месте – в планы подготовки кадров. Предложенные концептуальные подходы, модели, зависимости, формуляры апробированы и реализованы на практике при проектировании ПИ производства элементов тормозной системы, привода сцепления, рулевого привода и направляющего аппарата подвески транспортных средств позволили создать экспортноориентированные производства и обеспечило поставки на конвейеры лидером мирового автопрома [9 – 11].

Выводы

1. Предложена модель планирования качества процесса изготовления, целью которой является достижение вероятности выполнения номинальной величины параметра продукции (или процесса) в зависимости от серьезности последствий несоответствия, что реализуется путем опережающего планирования качества и вероятности появления несоответствий от всех идентифицированных причин.

2. Развита практическая методика планирования качества процесса изготовления, дополняющие традиционные этапы разработки технологического процесса

3. Предложена матрица выбора обязательных видов контроля и аудитов процесса изготовления, позволяющая в зависимости от степени важности параметров продукции на этапах жизненного цикла на основе метода последовательных приближений и стохастического детерминизма достигать приемлемой с позиции «затраты – риск» вероятности несоответствия продукции требованиям.

4. Предложенные подходы и модели апробированы на практике при подготовке и производстве элементов тормозной системы и подвески транспортных средств и продемонстрировали свою адекватность [9 – 11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Колодки, диски и барабаны тормозные транспортных средств. Общие технические требования, правила приемки и методы испытаний: ГОСТ 31341-2007. – Введен с 01.04.2008.
2. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1985. Т. 1. – 656 с.
3. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции: ГОСТ 27. 202-83. – Введен с 01.07.84.
4. Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности: ГОСТ 27.203-83. – Введен с 01.07.84.
5. Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности: ГОСТ 27.204-83. – Введен с 01.01.85.
6. Методические указания. Надежность в технике. Методы контроля надежности изделий по параметрам технологического процесса их изготовления: РД 50-706-91. – Введен с 01.01.92.
7. Технологические основы управления качеством машин / А.С. Васильев [и др.]. – Минск: ФТИ; Полоцк: ПГУ, 2001. – 216 с.
8. Ящерицин, П.И. Основы проектирования технологических процессов машиностроения: моногр. / П.И. Ящерицин, Л.М. Акулович, М.Л. Хейфец. – Минск: Технопринт, 2006. – 248 с.
9. Основы системы менеджмента качества машиностроительного предприятия / В.И. Арбузов [и др.]. – Минск: Технопринт, 2000. – 280 с.
10. Панов, А.Н. Как победить в конкурентной борьбе. Гармоничная система качества – основа эффективного менеджмента организации / А.Н. Панов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2003. – 272 с.
11. Горбачевич, М.И. Проектирование транспортных средств: нагруженность, повреждение, ресурс: моногр. / М.И. Горбачевич, А.Н. Панов, С.М. Минюкович; под общ. ред. А.Н. Панова. – Минск: Технопринт, 2005. – 264 с.
12. Системы менеджмента качества. Особые требования по применению ISO 9001 для организаций производителей серийных и запасных частей для автомобильной промышленности: ISO/TS 16949-2002.
13. Менеджмент риска. Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки: ГОСТ Р 51901.16-2005.
14. Менеджмент риска. Применение марковских методов: ГОСТ Р 51901.15-2005.
15. Менеджмент риска. Программа повышения надежности: ГОСТ Р 51901.6-2005.
16. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности: ГОСТ Р 51901.5-2005.
17. Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании. ГОСТ Р 51901.4-2005.
18. Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности: ГОСТ Р 51901.14-2005.
19. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей: ГОСТ Р 51901.13-2005.
20. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем: ГОСТ Р 51901.1-2002.
21. Менеджмент риска. Системы менеджмента надежности: ГОСТ Р 51901.2-2005.
22. Анализ причин и последствий отказов (FMEA): QS 9000-96.

Поступила 27.12.2007